



KAUKO-OHJATTAVAN KUVAUSKOPTERIN SOVELTU- VUUS PUUSTON KUUTIOMÄÄRÄN MITTAUKSEEN METSÄKOLMIO OY:LLÄ

Turpeinen Markus

Opinnäytetyö
Luonnonvara-ala
Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri

2018

Luonnonvara-ala
Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri

Tekijä	Markus Turpeinen	Vuosi	2018
Ohjaaja(t)	Markus Korhonen		
Toimeksiantaja	Pasi Mikkonen		
Työn nimi	Kauko-ohjattavan kuvauskopterin soveltuvuus puuston kuutiomäärän mittaukseen Metsäkolmio Oy:llä		

Sivu- ja liitesivumäärä 35+2

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää edullisen ja harrastuskäyttöön tarkoitetun miehittämättömän ilmaaluksen soveltuvuutta puunostajan apuvälineenä puustoarvioita tehdessä. Lisäksi tutkimuksen aikana oli tarkoituksena etsiä muita mahdollisia käyttökohteita ja ideoita kamerakopterille omassa yrityksessämme. Tutkimuksessa käytetty kopteri voisi toimia monipuolisena apuvälineenä metsäammattilaiselle.

Ilmakuvaus suoritettiin ennalta tiedostettujen vaikeuksien ja kokemattomuuden takia valikoiduilta ja selkeiltä kohdealueilta. Tutkimuslaitteena oli DJI Phantom 4 -nelikopteri. Valokuva-aineisto käsiteltiin iMovie-ohjelmalla. Vertailuaineistona käytettiin perinteisellä mittausmenetelmällä ja monitoimikoneella mitattua aineistoa. Tutkimuskohteina oli selkeitä päätehakkuuleimikoita. Toinen kohde oli mäntyvaltainen ja toinen kuusivaltainen metsikkökuvio.

Tämän tutkimuksen perusteella tällainen suhteellisen edullinen ja integroidulla kameralla varustettu kopteri voi toimia puunostajan apuvälineenä. Sillä saadaan mitattua tiettyjä tunnuksia metsästä riittävällä tarkkuudella. Kuvauksen voi suorittaa sellainenkin kopterin omistaja, joka ei välttämättä itse hallitse metsän mitausta. Kuvatulkinnan tekee ammattilainen. Miehittämättömän kamerakopterin vaikeustekijät, kuten puutteellinen suojaus vedeltä ja pölyltä, sääolosuhteet sekä lainsäädäntö rajoittavat tämän mainion apuvälineen käyttöä ammattimaisessa toiminnassa.

Avainsanat Kamerakopteri, metsän mittaus, puun osto

School of Forestry and Rural Industries
Forestry Programme
Forestry Engineer

Author	Markus Turpeinen	Year	2018
Supervisor	Markus Korhonen		
Commissioned by	Pasi Mikkonen		
Subject of thesis	The suitability of remote-controlled copter to measure the cubic volume of trees for Metsäkolmio Oy		
Number of pages	35+2		

The purpose of this study is to find out the suitability of an unmanned aerial vehicle for hobby use as a timber buyers helpline when making tree estimates. In addition the purpose of the research was to find out other potential use and ideas for a camera tester in the company. The copter used in the study could serve as a versatile tool for the forest professional.

Due to the known difficulties and inexperience the aerial photography was performed of a selected and clear target area. The research equipment used was the DJI Phantom 4 -specopeter. The photo material was processed using iMovie. Comparative data was used with the traditional measurement method and the material measured on the multifunction machine. The subject of the study was only the final felling logs. The other object was pine-dominated and the other was a spruce-wooded log compartment.

Based on this study, such a relatively inexpensive copter with an integrated camera can serve as a woodblocker. It is used to measure certain symbols from the forest with sufficient accuracy. The photographing can also be performed by the owner of the copter who does not necessarily have experience of forestry. The photo scoop is done by a professional. The difficulties of an unmanned camera such as inadequate protection from water and dust, weather conditions and legislation, however, limit the use of this auxiliary tool in professional use.

Key words Camera copter, forest measurement, wood purchase

SISÄLLYS

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	5
ALKUSANAT.....	6
1 JOHDANTO	7
2 METSÄNMITTAUS JA INVENTOINTI	10
2.1 Metsänmittaus	10
2.2 Mittausmenetelmät	10
3 KAMERAKOPTERIT	13
3.1 Kopterin valinta.....	13
3.2 Kopteri metsänmittauksessa	14
3.3 Lainsäädäntö Suomessa	15
3.4 Aikaisemmat tutkimukset.....	16
4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	17
4.1 Käytännön toteutus	17
4.1.1 Työkohteet.....	17
4.1.2 Kuvaukseen liittyvät tekijät	19
4.1.3 Puun pituus	21
4.1.4 Runkoluvun määrittäminen	22
4.2 Haasteet.....	24
5 TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	26
5.1 Aineisto.....	26
5.2 Tulosten vertailu	26
5.3 Kamerakopterin soveltuvuus tutkittavilla kohteilla	28
5.4 Muut käyttökohteet metsätaloudessa	29
6 POHDINTA	32
LÄHTEET	34
LIITTEET	35

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Kuvauksissa käytetty kopteri, Phantom 4.....	13
Kuvio 2. Arvioinnin kohteena oleva kuusikko maasta katsottuna.....	18
Kuvio 3. Arvioinnin kohteena oleva männikkö maasta katsottuna.....	18
Kuvio 4. Arvioinnin kohteena oleva männikkö. Kuvassa apuruudukko.....	20
Kuvio 5. Korkeuden tarkistaminen mittanauhalla.....	21
Kuvio 6. Arvioinnin kohteena oleva kuusikko. Kuvassa apuruudukko	22
Kuvio 7. Arvioinnin kohteena oleva kuusikko kuvattuna ilman apuruudukkoa....	23
Taulukko 1. Pituuden ja runkoluvun vertailutaulukko.....	27
Taulukko 2. Pituuden ja runkoluvun vertailutaulukko.....	28

ALKUSANAT

Haluan kiittää työn valmistumiseen vaikuttaneita yhteistyökumppaneita, jotka auttoivat työni eri vaiheissa. He mahdollistivat työn valmistumisen ajallaan ja ilman heitä olisin todennäköisesti joutunut työskentelemään vielä paljon enemmän. Suuret kiitokset Marko Hiioselle, jonka laitteistoa ja ohjelmistoja sain käyttää työssäni. Hän myös muokkasi kuvat sellaisiksi, että ne olivat tulkittavissa niin hyvin, kuin mahdollista. Erityisesti annan kiitokset työnantajalleni Pasi Mikkoselle, jolta sain idean työhöni ja arvokkaita neuvoja työn eri vaiheissa.

Kiitokset myös Metsäkolmio Oy:lle ja Putaan Mottimestarit Oy:lle, jotka mahdollistivat työn kannalta välttämättömät maastomittaukset omissa kohteissaan. Omat kiitokset ansaitsevat myös monitoimikoneenkuljettajat, jotka työskentelivät kyseisillä leimikoilla ja antoivat arvokasta maastomittausapua mitattavilla kuviolla.

1 JOHDANTO

Ilmakuvausta miehittämättömillä ilma-aluksilla on tehty yleisesti maanmittausalalla useita vuosia. Erilaisia palveluja tarjoavien toimijoiden määrä kasvaa koko ajan. Miehittämättömät ilma-alukset ovat yleistyneet ammattitehtävissä. Niihin on saatavilla jo monia eri sovelluksia ja lisälaitteita. Harrastuskäyttöön alun perin tarkoitetuista koptereista on tullut ammattilaisten työkaluja.

Vaikka tällaisilla kauko-ohjattavilla helikoptereilla on kuvattu ilmasta käsin jo kauan, on kopterikuvaaminen yleistynyt vasta viimeisen viiden vuoden aikana huomattavasti. Tämä johtuu niin koptereiden, erilaisten sovellusten ja koptereihin asennettavien kameroiden kehityksestä. Kuvauskoptereiden hinnat ovat myös laskeneet ja koptereiden hintojen aleneminen on osittain vaikuttanut niiden määrän lisääntymiseen. Edullisilla koptereilla ja kehittyneillä kameroilla lähes kuka tahansa saa otettua vähäisellä harjoittelulla ilmavalokuvia. Kuvia voidaan yhdistää ortokuvaksi tai kolmiulotteiseksi malliksi helppokäyttöisillä sovelluksilla. Kuvia ja videoita voi siis harrastemielessä ottaa lähes jokainen, mutta tarkempiin tutkimuksiin tarvitaan avuksi ammattilainen.

Nykyisin lähes jokaisessa organisaatiossa tavoitteena on saada aikaan säästöjä. Kuitenkin samanaikaisesti työnteon pitäisi olla tehokasta. Tehokkuuden ja säästöjen takia ryhdyin etsimään apuvälinettä metsäammattilaisten tarpeisiin. Kuvauskopterin käyttömahdollisuudet ovat myös lähes rajattomat, mutta tarkoituksena tässä työssä on selvittää kopterin soveltuvuus puunostajan apuvälineenä Metsäkolmio Oy:llä.

Koptereita on olemassa hyvinkin monenlaisia ja ominaisuuksiltaan eritasoisia. Niiden hintaluokka vaihtelee myös paljon johtuen edellä mainituista asioista. Työssäni on tarkoitus käyttää edullista ja niin sanottua kuluttajaluokan kalustoa, sekä sillä tuotettua kuva-aineistoa puustoarvioinnissa. Mittaustulosten tarkkuuden ja soveltuvuuden arvioinnin lisäksi tämän työn edetessä arvioidaan laitteiston soveltuvuutta muihinkin Metsäkolmio Oy:n käyttötarkoituksiin.

Toimin korjuuesimiehenä Metsäkolmio Oy - nimisessä yrityksessä. Lisäksi yrityksen toimintaan kuuluvat erilaiset metsänhoitotyöt, kuten maanmuokkaus, met-

sänviljely, taimikonhoito ja metsätaloussuunnitelmat. Kyselin työnantajaltani erilaisia vaihtoehtoja opinnäytetyön aiheeksi pitkin syksyä. Idearikkaana ja ennakoluulottomana työnantajana Metsäkolmio Oy:n toimitusjohtaja Pasi Mikkonen esitti aiheeksi tämän kuvauskopterin mahdollisuuksien tutkimisen omassa yrityksessään. Metsäkolmio Oy:llä työskentelevällä työntekijällä on tällainen kuvauskoenteri ja tein sillä testimielessä joitakin kokeilulentoja ja valokuvauksia. Suunniteltuani aihetta useana päivänä, totesin sen olevan mielenkiintoinen, hieman haastava ja mielestäni minulle soveltuva työ. Työ olisi käytännön läheinen ja työn ohessa voisin etsiä sopivia kohteita kuvausta varten. Lisäksi selvitystyön tuloksista saattaisi olla merkittävää hyötyä Metsäkolmio Oy:lle ja myöskin kuvauskopterin omistajalle.

Tulevaisuudessa työntekoa tulee tehostaa entisestään ja on löydettävä uusia ratkaisuja tehokkuuden lisäämiseksi. Mielestäni tässä työssä käytettävä kopterikalusto on yksi potentiaalinen apuväline, jolla tehokkuutta voidaan lisätä. Lisäksi aihe on myös ajankohtainen. Kauko-ohjattavien koptereiden käyttö työvälineenä on vielä vähäistä, joten työni antaa hyviä tuloksia ja kehiteltäviä ideoita siitä, mitä tämän päivän metsäammattilaiset haluaisivat näiltä miehittämättömiltä ilma-aluksilta.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää puunostajien ja ehkä myös metsäammattilaisten tarpeet ja toiveet kauko-ohjattavan kopterin käytöstä apuvälineenä omassa työssään. Jonakin päivänä tällainen kauko-ohjattava kopteri voi olla yhtä tärkeä työväline, kuin kannettava tietokone puun hankinnassa ja puunkorjuussa. Työn tarkoituksena on selvittää kopterikaluston ja sillä tuotetun kuva-aineiston soveltuvuus puustoarvioinnin apuvälineenä niiltä osin, kuin se on mahdollista. Työn aikana arvioin kopterin mahdollisuuksia myös muihin työtehtäviin, joissa sitä voi hyödyntää. Kameralla varustettu kopteri voi olla hyvinkin monipuolinen ja jokapäiväinen työkalu tulevaisuuden metsäammattilaiselle.

Tehokkaan, edullisen ja yksinkertaisen puuston mittaukseen soveltuvan menetelmän keksijälle on ollut tilausta jo kauan, sillä miestyönä tehdyissä mittauksissa on myös omat hankaluutensa. Ongelmina miestyönä maastossa tehdyissä mittauksissa ovat esimerkiksi mittausvirheet sekä kallis ja hidas työ. Ongelmien ja

säästöjen takia on lähdetty selvittämään uusia, yksinkertaisempia ja tehokkaampia työskentelytapoja metsän mittaukseen. Tällainen kuvauskopteri voisi olla vastaus tähän ongelmaan.

Tietävästi ei ole olemassa valmiita laskumenetelmiä tai ohjelmistoja, joiden avulla ilmakuvasta saadaan tuotettua halutut koealan puustoa ja sen ominaisuuksia kuvaavat tunnuksset. Käytettävältä laitteistolta vaaditaan paljon, sillä työskentely-ympäristö metsässä on haasteellinen. Teknisiä yksityiskohtia ja uuden teknologian ominaisuuksia näissä koptereissa on paljon. Uusi teknologia avaa monia mielenkiintoisia mahdollisuuksia metsänmittaukseen ja metsätalouteen. Haasteena tässä tutkimuksessa on noiden teknisten ominaisuuksien hyödyntäminen.

Tutkimuskysymyksinä tässä opinnäytetyössä ovat:

- Mitä ominaisuuksia kopterilta ja siihen kiinnitetyltä kameralta vaaditaan?
- Kuinka kopteria voi hyödyntää puunostajan apuvälineenä?
- Missä muissa työtehtävissä metsäammattilainen voi hyödyntää kopteria?

Kauko-ohjattavia ja kameralla varustettuja koptereita on markkinoilla olemassa hyvinkin monenlaisia ja -hintaisia. Työssäni käytettävä kopterilaitteisto on edullinen ja niin sanottu kuluttajaluokan kalusto. Mielestäni tutkimuksessani käytetty kopteri on hinta ja laatusuhteiltaan riittävä ja ominaisuuksiltaan monipuolinen Metsäkolmio Oy:n tarpeisiin. Tarkoituksena oli selvittää tutkimuksesta ainoastaan tällaisella kopterilaitteistolla, ilman kalliita lisälaitteinvestointeja. Luulen, että kopteria hyödynnetään myös myöhemmässä vaiheessa sellaisella varustuksella, kuin se on tälläkin hetkellä.

2 METSÄNMITTAUS JA INVENTOINTI

2.1 Metsänmittaus

Metsänomistaja voi saada metsästään monenlaisia hyödykkeitä. Näitä voi olla esimerkiksi marjastus, sienestys, metsästys ja virkistys. Kuitenkin suurin metsästä saatava hyöty tulee puustosta ja sen myynnistä teollisuudelle. Metsänomistaja päättää, mitä tavoitteita hän asettaa metsänsä käytölle osana muuta taloutaan. Kaikkia metsästä saatavia hyödykkeitä voidaan mitata ja arvioida jollakin tavalla, mutta usein tärkein tieto maanomistajalle metsästä on sen puuston arvo, joka on mitattavissa hyvinkin tarkkaan.

Puustoa inventoidaan ja mitataan laajojen alueiden strategista ja operatiivista metsä- ja leimikkosuunnittelua varten. Metsiä voidaan mitata esimerkiksi maastomittauksilla, laserkeilausmenetelmällä tai ilmakuvauksella. Arvioinnin tavoitteena on metsäalueen hakkuumahdollisuuksien, hakkuukertymien ja toimenpiteiden kartoitus. Leimikkosuunnittelua ja metsänmittausta tehdään esimerkiksi puunhankinnan ohjausta varten, jotta puunostaja saisi haluamiansa puutavaralajeja oikeaan aikaan. Kysynnän ja tarjonnan täytyy kohdata puumarkkinoilla. Korjuutyönjohtajana olen huomannut, että puustoarvioinnin tarkkuus korjuuiden suunnittelun kannalta on myös oleellisen tärkeä. Tällöin tarvitaan yksityiskohtaista tietoa leimikon puutavaralajien määristä sekä runkojen laadusta.

Pyrittäessä kustannustehokkaaseen mittaamiseen, on maastotyön osuutta pyritty vähentämään, koska maastossa tehty työ on hidasta ja kallista. Kaukokartoitus on kehittynyt paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tämä menetelmä on otettu käyttöön jo lähes kaikissa metsäorganisaatioissa. Nykyisin jokainen yritys etsii kustannussäästöjä ja tehokkuutta samanaikaisesti.

2.2 Mittausmenetelmät

Metsää ja puustoa voidaan mitata monellakin eri tavalla. Tietojen käyttötarkoituksella on vaikutusta myös mittaustapaan. Kerron joitakin esimerkkejä mittaustavoista, jotka liittyvät puunhankinnassa käytettävään metsäsuunnitteluun. Metsänmittauksessa tarkastellaan aina tiettyjä ominaisuuksia metsästä. Ominaisuutta voidaan kuvata jollakin mittaluvulla tai symbolilla. Jos tiedot päätyvät esimerkiksi

operatiivista suunnittelua varten, niin silloin käytetään niin sanottua kuvioittaista arviointia. Tällöin metsikkökuviot rajataan puustoltaan ja kehitysluokiltaan yksiköiksi, joista puusto arvioidaan erikseen. Maastossa suoritettava kuvioittainen arviointi kuitenkin vähenee tulevaisuudessa ja arviointeja tehdään laserkeilausta apuna käyttäen.

Jos tiedot päätyvät esimerkiksi operatiivista suunnittelua varten, niin silloin käytetään niin sanottua kuvioittaista arviointia. Tällöin metsikkökuviot rajataan puustoltaan ja kehitysluokiltaan yksiköiksi, joista puusto arvioidaan erikseen. Tarkastelun kohteena voi olla esimerkiksi puusto, jonka ominaisuuksia, kuten puiden läpimittoja, pohjapinta-aloja ja puun keskipituutta mitataan. Mitattuja ominaisuuksia kutsutaan tunnuksiksi. Metsikkötunnukset mitataan osittain silmävaraisesti. Arvioinnissa voidaan käyttää apuna relaskooppiä, kasvukairaa ja hypsometria. Mitattavat kohteet ovat havaintoja. Metsän mittauksessa käytetään useita mitta-asteikkoja, jotka määräytyvät mitattavan tunnuksen mukaan. (Kangas, Päivinen, Holopainen & Maltamo 2011, 179)

Mittaustavat ja välineet vaihtelevat hieman mittauksen tarkoituksen mukaan. Nykyisin metsiköstä arvioidaan erikseen puulajit, pohjapinta-ala, keskipituus ja ikä. Näiden tunnusten perusteella puustosta voidaan arvioida esimerkiksi kuutiomäärä metsän myyntiä varten. Metsäammattilainen pystyy tämän arvioinnin tekemään hyvinkin vaivattomasti ja suhteellisen tarkasti. Jos tulokset on tarkoitettu esimerkiksi tutkimustarkoitukseen, niin mittausvälineiden on oltava hyvät ja itse mittauskin on suoritettava tarkasti. Jos taas tulokset tulevat arviointitarkoitukseen, niin välineiksi ja mittaustavoiksi kelpaavat hieman suurpiirteisemmätkin tavat. (Kangas ym. 2011, 4)

Suomalaiset metsäorganisaatiot ovat siirtymässä operatiivisessa metsäsuunnittelussa seuraavan sukupolven metsänmittausmenetelmiin. Menetelmissä hyödynnetään paljon laserkeilausaineistoa, joka on ilmasta tai maastosta kerättyä. Se mahdollistaa metsien tutkimisen pienkuvioittain tai jopa yksittäisien puiden tarkan mittaamisen. Uusimpien mallien aineisto mitataan uudella teknologialla turvallisesti maan pinnalta. Laserkeilain voi olla kiinnitettynä esimerkiksi monitoimikoneeseen. Tiedot tallentuvat järjestelmiin ja ne ovat hyödynnettävissä laskentaa varten. Laserkeilaimia on testattu vuosia monitoimikoneessa ja nyt tekniikka alkaa olla valmista. Tavoitteena on saada valmis tieto esimerkiksi harvennetusta puustosta suoraan hakkuukoneen jäljiltä. (Kangas ym. 2011, 139–143)

Eräs nykyaikaisimmista menetelmistä on älypuhelimeen asennettu metsänmittausjärjestelmä nimeltään Trestima. Tämä mobiilisovellus perustuu metsäkuvioilta otettuihin kuviin. Kuvat lähetetään matkapuhelinverkon kautta pilvipalveluun ja siellä kuvasta voidaan laskea pohjapinta-ala puulajeittain. Lisäksi mittaaja valitsee metsästä mediaanipuun ja asettaa sen kylkeen mittatikun. Sen avulla voidaan arvioida puun pituus. Menetelmänä tämä vaikuttaa toimivalta. Työni puolesta olen päässyt Trestimaa testimielessä kokeilemaan. (Kopakka 2015, 1–2)

3 KAMERAKOPTERIT

3.1 Kopterin valinta

Puuston kuvauksissa minulla oli tarkoituksena käyttää niin sanottua kuluttajaluokan suhteellisen edullista kopteria. Kopterissa ja sen mukana kulkevassa kamerassa pitää olla kuvaustarkoituksiin riittävästi ominaisuuksia. Esimerkiksi kameralla otetussa kuvassa tulee olla riittävän hyvä kuvanlaatu. Kopterin täytyy olla helppo ja vakaa lennätettävä, jotta kuvaaminen onnistuu parhaalla mahdollisella tavalla.

Kuvauskopterina työssäni oli Phantom 4. (Kuvio 1.) Se on helppokäyttöinen ja korkeatasoinen ilmakuvauksopteri, josta löytyy uudenlaista tekniikkaa sekä ominaisuuksia. Kopteriin oli integroitu 4K kamera, jossa oli optiikkaa kehitelty paremman kuvan reunojen terävyyden saavuttamiseksi ja vääristymien vähentämiseksi. Kameran videosignaali mahdollistaa HD- tason esikatselunäytön jopa viiden kilometrin päästä. (DJI Phantom 2018)



Kuvio 1. Kuvauksissa käytetty kopteri, Phantom 4

3.2 Kopteri metsänmittauksessa

Metsänmittauksen apuvälineenä kauko-ohjattava kopteri varustetaan joko valokuvakameralla tai laserkeilaimella. Valokuvaukseen perustuva mittaussmenetelmä on vielä nykyisin edullisempi ja yleisempi vaihtoehto. Laserkeilauksella voidaan kuvata paremmin esimerkiksi maanpinnan muotoja peitteisessä maastossa. Laserkeilaus-kalusto on kuitenkin vielä toistaiseksi hinnaltaan moninkertainen käyttökelpoiseen kamerakalustoon verrattuna. Hintaero kapenee tulevaisuudessa ja menetelmiä käytetään ehkä rinnakkain. (Higgins 2016)

Metsäkartoituksen suorittaminen teknologiaa hyväksikäyttäen ei ole siis aivan uusinta uutta, sillä laserkeilausta on sovellettu puustonmittauksiin jo aiemmin. Laserkeilain on olemassa olevaa teknologiaa, jota Maanmittauslaitos on käyttänyt lentokoneella suoritettussa metsä- ja maastokartoituksessa. (Kangas ym. 2011, 136–142)

Laserkeilaus perustuu lentokoneessa olevan keilaimen lähettämiin laserpulsseihin, jotka maanpintaan osuessaan heijastuvat takaisin vastaanottimeen. Varsinkin metsäkartoitustyössä yksittäinen laserpulssi osuu useampaan puuhun ja silloin sensori tallentaa pulssista useamman kuin yhden jälkikaiun. Kaikille laserpulssien osumille annetaan jälkilaskennassa kolmiulotteiset X-, Y- ja Z-koordinaatit ja ne kertovat osumien sijainnin valitussa koordinaattijärjestelmässä. Pulsien tiedot tallentuvat pistepilveen, joka sisältää kaikki laserkeilausalueen pulssi- sekä koordinaattitiedot. Laserkeilaimen voi asentaa myös pienoishelikopteriin. (Kangas ym. 2011, 136–142)

Tulevaisuudessa tavoitteena on luoda sellainen mallisetti, jossa on mahdollista käyttää aiempaa vapaammin valittuja selittäjiä. Tärkeää olisi saada sellainen malli, jossa tilavuus ennustetaan pelkän puun pituuden avulla. Puuston pituus saadaan arvioitua esimerkiksi nykyisillä kamerakoptereilla hyvinkin tarkasti, mutta läpimittoja ei välttämättä pystytty mittaamaan. Metsien inventointi perustuu nykyisin yhä enemmän kaukokartoitukseen.

3.3 Lainsäädäntö Suomessa

Tässä työssä kauko-ohjattavalla kopterilla suoritettut mittaustyöt ja kuvaukset eivät olleet ammattimaisia. Tarkoituksena oli kokeilu- ja testimielessä käyttää tällaista kopteria. Ennen kauko-ohjattavan kopterin lennättämistä on kuitenkin perehdyttävä ilmailua koskeviin lakeihin ja määräyksiin Suomen ilmatilassa. Jos kauko-ohjattavalla kopterilla suoritettava mittaustyö tulkitaan ammattimaiseksi, niin lentäjän on syytä tutustua vieläkin tarkemmin keskeisiin lainsäädännön pykäliin. Mittaustyön kannalta keskeisiä vaatimuksia kauko-ohjatulle ilma-alustoilinnalle on asetettu mielestäni melko paljon. Miehittämätöntä ilma-aluksen lennättämistä säädellään Suomessa ilmailulailla. (Ilmailulaki 864/2014) Ilmailulakia täsmällisemmin ja tarkemmin UA-toimintaa säädellään Liikenteen turvallisuusvirasto Trafín määräyksellä. Uusin määräys on tullut voimaan 1.1.2017 ja se on voimassa toistaiseksi. (Trafi 2017)

Ennen ensimmäistä käyttökertaa kopterin käyttäjän tai lentäjän on ilmoitettava Liikenteen turvallisuusvirastolle esimerkiksi tiedot käyttäjästä, ilma-aluksesta, toiminnan laadusta ja laajuudesta sekä tiedot aiotaanko toimintaa harjoittaa asutuskeduksen tiheästi asutulla alueella ja aiotaanko lentotoimintaa harjoittaa väkijoukon yläpuolella. Jos näihin tietoihin tulee muutoksia, niin muutoksista on ilmoitettava Trafille välittömästi. (Trafi 2017, 2–3.)

Kopteria ei vielä toistaiseksi tarvitse rekisteröidä. Laitteesta ja sen mukana kulkevista papereista on käytävä ilmi kopterin käyttäjän nimi sekä yhteystiedot. Kauko-ohjatuista lennoista on talletettava ja säilytettävä kolmen vuoden ajalta tiedot lennätyksen päivämäärästä ja kellonajasta, lennätyspaikasta, ilma-aluksen päälliköstä, ilma-aluksen valmistajasta ja mallista sekä lennätystehtävän luonteesta. (Trafi 2017, 3–4)

Kauko-ohjatun kopterin lentoonlähtömassa saa olla enintään 25 kg. Lennätyksen täytyy olla näköyhteyteen perustuvaa. Lennätystoiminta ei saa haitata mitenkään viranomais- tai ensivasteyksikön (pelastuslaitoksen) toimintaa. Lennätys ei saa aiheuttaa vaaraa ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelleen. Kopterilentäjän on kyettävä käyttämään turvallisesti ilma-alusta ja hallittava hätätilanteiden edellyttämät toimenpiteet. Kauko-ohjatusta lennosta vastaavan on oltava vähintään 18-vuotias. Kauko-ohjatussa kopterissa tulee olla sellainen järjestelmä, joka

minimoi aiheutuvan vaaran tilanteissa, joissa ohjaukseen ja valvontaan tarvittavat yhteydet katkeavat. (Trafı 2017, 4–5)

3.4 Aikaisemmat tutkimukset

Kuvauskoptereita ja sovelluksia on tutkittu viime vuosien aikana jonkin verran. Varsinaisia tutkimuksia kamerakopterilla tehdyistä metsänmittauksista en juuri-kaan löytänyt. Opinnäytetöissä on perehdytty lähinnä eri keinoin saatavan aineiston tarkkuuteen ja datan soveltuvuuteen eri käyttötarkoituksissa. Eri menetelmien käytettävyyttä on selvitetty lähinnä mittaukseen ja tallennetun datan käsittelyyn kulu- van ajan näkökulmasta. Jonkin verran kopterilla otettua kuvaa on hyödyn- netty metsien kartoituksessa, esimerkiksi vaikeiden maastojen hakkuita varten, ojitussuunnittelussa ja metsätuhojen hahmottamisessa. (Lukkari 2016, 10)

Vuonna 2017 Samuli Sironen teki tutkimuksen, jonka tarkoituksena oli selvittää metsäammattilaisten näkemyksiä kauko-ohjattavan multikopterin hyödynnettä- vyydestä omassa työssään. Tutkimuksessa selvitettiin myös kopterissa tarvittavia ominaisuuksia eri käyttötarkoituksiin. Aineiston avulla oli tarkoitus kerätä uusia ideoita, joilla voisi kehittää kopterin toimintaa monipuoliseksi metsätalouden väli- neeksi. Tutustuin tähän Samulin mielenkiintoiseen työhön vasta sitten, kun olin jo kirjoittamassa omaa tutkimustani. Työssä oli paljon samoja havaintoja ja käyt- tökokemuksia, joita tein itsekin kopteria kokeillessani. (Sironen 2017, 8)

Eräs toinen aiheeseen liittyvä tutkimus on Lauri Laaksosen ja Ville Kallioisen te- kemä opinnäytetyö Metsän UAV-ilmakuvauksen toteutus ja pintamallien laatiminen. Se on tehty vuonna 2016 Hämeen ammattikorkeakoulussa. Työn tarkoituksena oli selvittää UAV-laitteiden toimivuutta metsän mittauksessa. Lisäksi työssä sel- vitettiin mahdollisuutta saada puustotunnuksia quadrokopterilla tallennetusta ai- neistosta. (Kallioinen & Laaksonen 2016, 2)

Tutustuin metsäammattilaisten suorittamiin käyttökokemuksiin, sovelluksiin ja tu- loksiin, joita oli tehty kuvauskopterilla. Havaittiin, että isot yritykset ulkoistavat aina vain enemmän palveluitaan. Metsätalousinsinööreille on siis ollut hieman niukasti töitä tarjolla, joten tällaisesta kopterista kiinnostuneet alan asiantuntijat ovat ryhtyneet työllistämään itseänsä. Erikoisosaamiselle on yleensä aina töitä tarjolla. (Partanen 2016, 7–9)

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1 Käytännön toteutus

Tutkimus oli kaikenkaikkiaan työläs homma. Kokemattomuus tämän tyyliiseen mittaustapaan hidasti suunnittelua ja kuvausten esivalmistelut veivät paljon aikaa. Harjoittelin ja suunnittelin kuvaushommia monena päivänä ennen varsinaisia puustonmittauksia. Itse puustonkuvaukset sain suoritettua kahtena eri päivänä. Kuvien tulkintaa tein aina töiden ohessa, iltaisin tai sitten, kun jäi ylimääräistä aikaa tarpeeksi kuvien arvioimiseen.

Työhön on valittu kaksi toisistaan poikkeavaa tutkimuskohdetta. Kahden tutkimuskohteen valinnalla oli tarkoitus selvittää kopterin käyttökelpoisuus erilaisissa metsätaloudessa tyypillisissä hakkuukohteissa. Työssä mitattiin puuston tilavuusmittauksen kannalta tyypillisiä kohteita perinteisellä relaskooppimittauksella ja ilmakuvauksella. Lopuksi kohteet hakattiin ja näin saatiin vielä varmistettua todellinen puuston tilavuus, runkoluku ja keskimääräinen puun pituus. Eri menetelmistä laskettujen aineistojen yhdenmukaisuutta ja järkevästi saatuja puustotunnuksia vertailtiin kerätyn aineiston avulla.

4.1.1 Työkohteet

Valitsin sopivat työkohteet meidän leimikkovarannosta. Tutustuin kohteisiin korjuuesimiehen työni ohessa suunnitellessani tulevia leimikoita hakkuuseen. Tarkoituksena oli löytää kaksi puustoltaan erilaista päätehakkuukohdetta, jotta saadaa kattavasti vertailuaineistoa. Kokemattomuuden takia valitsin näihin kopterikuvauksiin vain selkeitä päätehakkuualueita, jotka ovat lähes yhden puulajin metsiköitä. Löysin kuvattavaksi kaksi kohdetta Pihtiputaalta. Tutustuin kuvioihin ja merkkasin karttoihin koealojen paikat tasaisesti.

Ensimmäinen arviointikohde oli kuusivaltainen päätehakkuukuvio, josta oli saatavilla lisäksi Metsänhoitoyhdistyksen arvioimat puustotiedot. Kuvion pinta-ala oli noin kaksi hehtaaria. Kuviolla oli paljon alikasvospuita ja näkyvyys arvioinnin kannalta oli hieman huono. (Kuvio 2.)



Kuvio 2. Arvioinnin kohteena oleva kuusikko maasta katsottuna

Toinen kohteista oli mäntyvaltainen päätehakkuukuvio. Tämän kuvion pinta-ala oli noin viisi hehtaaria. Mittauksen kannalta tämä kuvio oli paljon selkeämpi, koska alikasvosta ei ollut ja puusto oli tasakokoista. (Kuvio 3.)



Kuvio 3. Arvioinnin kohteena oleva männikkö maasta katsottuna

Ennen varsinaista kuvausta tein näihin molempiin kuvauskohteisiin perinteisen puustoarvion maastossa. Tein mittauksen samalla tavoin, kuin on tapana tehdä arvio puukauppaa varten. Tarkoituksenahan tässä työssä on selvittää kopterin käyttökelpoisuus puunostajan apuvälineenä juuri tässä vaiheessa. Jos jonkin työn voi tehdä yksinkertaisemmin tai helpommin, niin nykyään sitä sanotaan tehokkuudeksi ja säästöksi.

Maastossa mittasin ensimmäisenä relaskoopilla pohjapinta-alan koealalta. Sen jälkeen arvioin mediaanipuun pituuden keppimenetelmällä. Lisäksi mittasin mediaanipuun läpimitan mittasaksilla. Näillä mittauksilla sain selville puuston määrän ja runkoluvun hehtaarilla. Samalla kertaa mitatessani merkitsin koealan keskipisteen maastoon maalimerkityllä hakkuutyömaapaperilla. Punaiseksi maalattu suuri paperi erottui selkeästi yläilmoista. Mittaus kamerakopterilla osuu siten myös samalle kohdalle maastossa suoritettuna mittauksen kanssa. Monitoimikoneella voi myös tehdä päätehakkuun aikana tarvittavat mittaukset samasta koealapistestä.

4.1.2 Kuvaukseen liittyvät tekijät

Kuvaustapaa valittaessa huomioitiin materiaalin käyttökelpoisuus ja toistettavuus sellaisenaan. Kuvia pystyy tulkitsemaan asioihin perehtynyt henkilö ilman sen suurempia kuvien käsittelyjä. Ensimmäisten koekuvausten perusteella valokuvat todettiin kaikilta ominaisuuksiltaan käyttökelpoisiksi tutkittavaan tarkoitukseen. Niiden tarkkuus, luettavuus ja jatkojalostaminen ovat mielestäni riittäviä ainakin meidän käyttötarkoitukseen. Videokuvausta testasin vain kokeilumielessä, koska se kulutti nopeasti virtaa akkukapasiteetista. Lisäksi videoiden tiedostokoko on erittäin suuri, mikä haittaa niiden siirtoa ja käsiteltävyyttä.

Kuvauskorkeuksia kokeilin 40-60 metrin välillä. Kuvauskorkeutta valitessa on otettava huomioon kuvien käyttötarkoitus. Jos kuvauksella on tarkoitus esimerkiksi tehdä yleissilmäys tarkastettavalle alueelle, voi kuvauskorkeus olla yli 50 metrin. Tällöin kuvat ovat aivan riittävän tarkkoja monenlaiseen tarkasteluun. Havaitsin muutamien koekuvausten jälkeen, että 50 metriä on mittaustarkoitukseen sopiva korkeus. Sopivasta korkeudesta otetusta kuvasta tulkinta ja arviointi on helpoin tehdä.

Kopterin lentokorkeus näkyy lähettimen näytöltä suhteessa lähettimeen. Kopterissa on GPS-laitteisto, joka määrittää kopterin sijainnin ja pitää sen tarvittaessa paikoillaan ilmassa. Mikäli maaston korkeus vaihtelee, lennättäjän tulee olla sellaisessa paikassa, että hän näkee maaston korkeuden vaihtelun. Lennättäjän pitää vaihdella lentokorkeutta maaston pinnan mukaan. Tässä voi käyttää apuna esimerkiksi puhelimen maastokartan korkeuskäyriä. Suurin merkitys lentokorkeudella on, jos kuvista mitataan puuston tarkkaa pituutta. Kahden metrin muutos lentokorkeudessa voi aiheuttaa monen prosentin eron mittaustuloksiin.

Viistokuvana ja korkealta kuvattaessa tulee kuvista melko yleisluontoisia. Tähän työhön tarvittavat kuvat otettiin kohtisuoraan alaspäin ja aina 50 metrin korkeudesta. Kuva puustosta tallennettiin näyttökuvana kuvaa otettaessa. Tällöin kuvaan tallentuu ruudukko, jossa on yhdeksän samankokoista apuruutua. Näin otetusta kuvasta on paras mahdollisuus arvioida runkolukumäärä. Kuvan ominaisuuksista johtuen kuvasta on rajattava reunimmaisiet puut pois, koska ne tavallaan näyttävät kaatuvilta puilta. Rajauksen jälkeen kuvasta on laskettavissa runkoluku ruudukon perusteella. (Kuvio 4.)



Kuvio 4. Arvioinnin kohteena oleva männikkö. Kuvassa apuruudukko

4.1.3 Puun pituus

Kopterin lentokorkeuden näkee lähettimen näytöltä ja sitä voi seurata reaaliaikaisesti koko ajan. Kopteri lennetään mitattavan mediaanipuun latvuksen kohdalle ja otetaan kuva vaakatasossa. Kuva tallennetaan näyttökuvana ja siten kuvaan tallentuu muistiin esimerkiksi senhetkinen lentokorkeus ja koordinaattipiste. Tarkalla lentokorkeudella on suuri merkitys, jos kuvista mitataan esimerkiksi puuston määrää tai mediaanipuun pituutta. Virheellisellä mittauskorkeudella on iso merkitys mittaustuloksiin.

Kopterin lentokorkeus ja siten myös puun pituuden määrittäminen onnistuu todella tarkasti. Tärkeätä on varmistaa, että kuva tallennetaan oikeasta korkeudesta. Tarkistin kopterin korkeuden tavallisella metrinmitalla mittaamalla ja pitämällä kopteria toisessa kädessä. Kopterin korkeus oli täsmälleen sama, kuin metrin mitasta tarkistettu tulos. (Kuvio 5.) Myöhemmin tarkistin korkeuden vertaamalla kopterilla saatuja tuloksia monitoimikoneella mitattuihin sekä maassa katkottuihin pölkkyyihin.

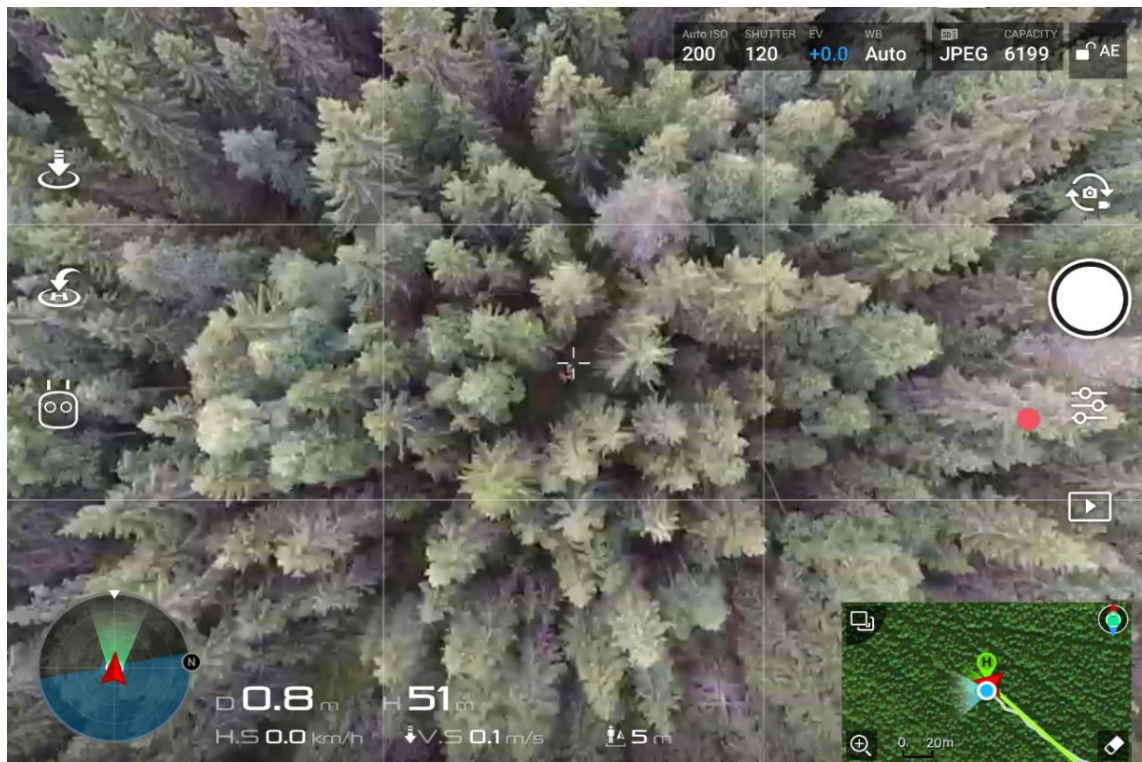


Kuvio 5. Korkeuden tarkistaminen mittanauhalla

4.1.4 Runkoluvun määrittäminen

Runkoluvun määrittämiseen käytettiin kohtisuoraa kuvausta. Kuvauskorkeus oli aina sama eli 50 metriä. Ongelmaksi muodostui ensimmäiseksi sellainen asia, että en tiennyt kuvasta näkyvän alueen pinta-alaa maastossa. Pinta-ala oli pakko selvittää, jotta voisin muuttaa kuvasta lasketun runkolukumäärän hehtaarikoh- taiseksi. Ratkaisin ongelman siten, että menin kopterin kanssa aukealle asfaltti- kentälle ja lennätin kopterin 50 metrin korkeuteen. Kopterin lentäjä opasti minut näyttöä tarkkailemalla kuvan kulmiin. Sitten merkkasin sparymaalilla kuvasta nä- kyvän alueen nurkat. Tämän jälkeen mittasin yksinkertaisesti pituuden ja levey- den rullamittaa avuksi käyttäen. Näin sain mitattua pinta-alaksi 5332 neliömetriä eli hieman yli puoli hehtaaria.

Kuvia puustosta otettiin monelta eri lentokorkeudelta. Kokeilujen ja testien perus- teella 50 metriä oli kuvatulkitintaa varten paras kuvauskorkeus. Kuva tallennettiin oikeasta lentokorkeudesta ja koealapisteestä aina näyttökuvana. Näin kuvaan sai tallennettua yhdeksän ruutuisen ruudukon, jota käytettiin apuna laskennassa. Yh- den pienen ruudun pinta-ala on noin 592 neliömetriä. (Kuvio 6.)



Kuvio 6. Arvioinnin kohteena oleva kuusikko. Kuvassa apuruudukko

Kopterilla normaalisti otettu kuva on tavallinen ilmakuva, jossa ei ruutuja näy. Tässä kuvassa ongelmana ovat reunimmaiset puut, jotka näyttävät ikään kuin kaatuvilta puilta. (Kuvio 7.)



Kuvio 7. Arvioinnin kohteena oleva kuusikko kuvattuna ilman apuruudukkoa

Laskennassa ruudukon uloimmaiset ruudut puolitettiin, jotta kuvan ominaisuuksista johtuvat reunimmaiset kaatuvat puut saadaan jäämään pois tulkinnasta. Tällöin laskennassa mukana oleva neliö on kooltaan 2378 neliömetriä. Se on myös tarkistettu mittaamalla edellämainitulla asfalttikentällä. Hehtaarikohtaiseksi pinta-ala saadaan, kun käytetään kerrointa 4,2.

Näyttökuvan yhdeksästä neliöstä laskettiin runkoluku, joka kerrottiin 4,2:lla. Tulokseksi saadaan runkoluku hehtaarilla. Runkoluvun määrittäminen onnistui hyvin normaali olosuhteissa ja selkeillä alueilla. Sopivassa valaistuksessa, kun aurinko ei esimerkiksi häikäissyt, oli runkojen havaitseminen huomattavasti helpompaa, kuin taas liian kirkkaalla säällä. Pilvinen ja lähes tuuleton poutasää on paras hetki kuvauksen suorittamiseksi.

4.2 Haasteet

Meillä jokaisella voi olla jokin mielikuva tai mielimaisema tutusta metsästä. Mielimaisema voi liittyä tuttuun ja turvalliseen lapsuuden asuinympäristöön. Metsä on monille suomalaisille edullinen, tuttu ja turvallinen latautumisaika. Metsä-ammattilaisen on otettava huomioon metsienkäsittely ja hakkuista suunnitellun monia eri näkökulmia ja metsänomistajien toiveita. Hakkuu muuttaa aina maisemaa ja se muutos on yritettävä metsänomistajalle selittää etukäteen, ettei lopputuloksena ole mahdollinen pettymys ja peruuttamaton ratkaisu. (Arvonen 2014, 32)

Metsä työympäristönä on paljon antava, mutta toisaalta myös haastava. Se pitää metsässä liikkujan nöyränä. Kesän havaitsin monta kertaa, että luonto ohjailee työntekoa metsässä aika pitkälti. Monta kertaa tein turhan reissun kuviolle kopterin kanssa ja metsästä oli pakko lähteä kotiin, koska liian kova tuuli tai sade yllätti minut. Kopterin lennättäminen ei ole järkevää huonolla säällä, koska vahingon mahdollisuus on silloin liian suuri. Luonnon kanssa toimiessa ei voi koskaan tulla täysin oppineeksi ja viisaaksi, vaan aina löytyy jotain uutta opittavaa. Tekniikan kehitys ja siihen kouluttautuminen ovat tuoneet mahdollisuuksia ja mielenkiintoa työhön. Kehitykseen on vain lähdettävä mukaan ja siihen on tulevaisuudessa sopeuduttava.

Huomasin tätä tutkimusta ja käytännön kuvauksia tehdessäni muutamia työskentelyä vaikeuttavia tekijöitä. Konetta ei saa päästää näkyvistä, koska Trafir sääntö kieltävät lentämisen näkemättä konetta. Silloin on siis sama jos muutamia tunnuksia mitataan puustosta samalla, kun ollaan jo muutenkin kopterin vieressä, kuten esimerkiksi keskiläpimitta ja pohjapinta-ala. Kopteria ei myöskään uskalla laskea puiden väliin sivusta päin katsomalla, vaan lennättäjän on oltava itse laitteen alapuolella, jotta kopteri ei osu puiden oksiin ja hajoa.

Sääolosuhteet aiheuttavat kauko-ohjattavalle kopterille ongelmia myöskin. Kirkkaalla auringonpaisteella kuvaaminen on hankalaa ja kuvien laatuun ei ole paras mahdollinen. Tuulisella säällä kopterin lentäminen on vaikeaa. Kopteri ei pysy kovassa tuulessa paikoillaan ja muutaman kerran laitteen GPS sekosi niin, että kopteri lähti omille teilleen. Saimme sen kuitenkin home-napilla takaisin hetken

kuluttua. Sateella ja kovalla pakkasella kuvaaminen ei onnistu ollenkaan. Alijäähtynyt sade jäädyttää talvella kopterin GPS-laitteen ja sen seurauksena kopteri saattaa myös pudota.

Jos siis etsitään lähes tuuletonta, sateetonta ja kesäistä säätä kopterikuvausta ajatellen, niin mahdollisuudet onnistuneelle kuvauspäivälle ovat aika pienet. Joka päiväiseksi apuvälineeksi ajateltu kopteri on hylättävä huonon sään takia matkasta.

Kopterin lentoaika on yhdellä akulla melko lyhyt. Sillä voi lentää yhden latauksen jälkeen vain 25-30 minuuttia. Toki tuossa ajassa ehtii kuvata melkoisen pinta-alan, mutta jos akku pääsee loppumaan, niin kopteri saattaa joutua hukkaan tai se putoaa. Saatavilla on jo tähänkin kopteriin kestävämpiä ja isompia akkuja.

Kokemattoman lentäjän ei kannata lähteä metsään heti ensimmäisillä lentoreisilla. Kopteri ja hallintalaitteet on oltava hyvin hallussa puiden välissä lentäessä. Lentäjältä edellytetään todellista tarkkuutta, ettei tule törmäyksiä puihin tai niiden oksiin, kun noustaankun tai laskeudutaan kopterilla puiden väleihin pienistä raoista.

5 TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

5.1 Aineisto

Kopterilla otetut kuvat eivät sellaisenaan ole käyttökelpoisia. Ne on aina käsiteltävä jollakin kuvienkäsittelyohjelmalla. Kuvien käsittelyyn tarvitaan myös riittävän suorituskykyinen tietokone, jolla kuvienkäsittely sujuu ongelmitta. Tässä tutkimuksessa kuvat käsiteltiin MacBook Pron kannettavalla tietokoneella. MacBook Pro on riittävän tehokas kone ja siinä riittää suorituskykyä hyvin kuvien muokkaamiseen. Myös ammattimainen prosessointi, kuten 3D-mallintaminen ja videon pakkaaminen, sujuvat tällä tietokoneella nopeasti. (Apple Inc. 2017)

Työssä valokuvamateriaalia käsiteltiin iMovie-ohjelmalla. Se on kuvienkäsittelyohjelma, jonka avulla voidaan yhdistää automaattisesti jopa useita tuhansia valokuvia yhdeksi kokonaisuudeksi ja tuottaa tästä yhdistelmätiedosta erilaisia tuotteita mittauksen ja visualisoinnin tarpeisiin. Kuvista piti poistaa ja leikata jotakin aina pois ja niitä myös hieman muokattiin tarkemmaksi. Ohjelmistossa on myös erilaisia työkaluja, joilla kuviin voi lisätä esimerkiksi tekstiä tai videoihin voi liittää esimerkiksi ääntä. (Apple Inc. 2017)

5.2 Tulosten vertailu

Tutkimuksessa päädyttiin keräämään tietoa valtapuiden pituuksista, puulajeista ja runkoluvusta. Nämä edellä mainitut tunnuksot onnistuivat mittaamaan kameralla varustetulla kopterilla mielestäni suhteellisen järkevästi. Muitakin mittauksia yritin kopterin avulla tehdä, mutta niistä havaitut tulokset olivat epävarmoja ja virhe havainnoissa oli liian iso luotettavuuden kannalta. Yritin esimerkiksi kiinnittää relaskooppia kopteriin ja mitata siten pohjapinta-alaa, mutta tämä mittaustapa osoittautui liian hankalaksi ja turhaksi. Etäisyys kamerasta relaskooppin hahloon on vaikea määrittää ja lisäksi kopterilla ei uskalla laskeutua sivusta katsottuna puiden väliin.

Yritin myös arvioida kuvista latvuksen peittävyyttä ja sitä kautta puuston kuutiomäärää. Tämä tulkinta osoittautui myös minulle liian haastavaksi, koska valmista laskentakaavaa tai ohjetta noihin edellä mainittuihin puustonarvioimistapoihin ei ole. Olisin tarvinnut näiden arvioiden tekemiseen ylimääräisiä laitehankintoja ja

tutkimusapua asiantuntijoilta. Tässä tutkimuksessa oli tarkoituksena pärjätä ainoastaan edullisella kauko-ohjattavalla kamerakopterilla ilman kalliita lisälaitteinvestointeja.

Puun pituuden mittaaminen onnistui kopterilla hyvin. Tulokset ovat hyvin lähellä todellisia pituuksia, jotka mittasin hakkuun aikana rullamitalla ja monitoimikoneella. Mittauksissa virhettä on eniten, kun vertaillaan kopterilla mitattuja puiden keskipituuksia maasta arvioituihin pituuksiin. Mittaustarkkuudella on iso merkitys puustoarviointia tehdessä. Esimerkiksi kahden metrin ero keskipituudessa voi tarkoittaa päätehakkuun kokonaiskuutiomäärään jo 15-20 kuutiometrin eroa.

Hehtaarikohtaisen runkoluvun laskeminen kuvasta tulkittuna onnistuu hyvin, jos puusto on tasakokoista ja sopivasti harvennettua. Jos metsässä on paljon alikasvopuita, niin runkoluvun laskeminen vaikeutuu. Pienet puut jäävät isompien puiden latvuksien suojaan ja niiden laskeminen ei onnistu. Havaitsin tämän vaikeustekijän toisella arviointikohteellani. Männikkökohde oli tasakokoinen ja siinä runkoluvun laskeminen onnistui hyvin. Toinen kohde oli kuusikko ja siinä oli paljon pieniä alikasvopuita. Tällä kohteella runkoluvun määrittäminen kuvasta ei oikein onnistunut ja virhettä tuloksiin tuli paljon. (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Pituuden ja runkoluvun vertailutaulukko

AVOHAKKU KUUSIKKO									
Pituuden vertailu					Runkoluvun vertailu				
Oma arvio/kopteri					Oma arvio/kopteri				
Oma arvio	Kopteri	Ero m	Ero %		Oma arvio	Kopteri	Ero kpl	Ero %	
18	19,3	1,3	7,2		1339	988	351	26	
18	18,2	0,2	1,1		896	742	154	17	
20	19,2	-0,8	-4,0		1314	1120	194	15	
18	19,1	1,1	6,1		1339	1088	251	19	
17	19,4	2,4	14,1		1138	956	182	16	
20	19	-1	-5,0		767	554	213	28	
18	18,6	0,6	3,3		1190	1081	109	9	
18	18,2	0,2	1,1		1138	811	327	29	
19	19,5	0,5	2,6		857	722	135	16	
18	18,1	0,1	0,6		1339	1041	298	22	
Ka	18,4	18,86	0,46	2,5	1132	910	222	20	

Tutkimuksen kohteena olevalla männikkökuviolla pituuden ja runkoluvun vertailu onnistui hyvin. (Taulukko 2.) Tulokset tältä kohteelta ovat riittävän tarkkoja arviointitarkoitukseen.

Taulukko 2. Pituuden ja runkoluvun vertailutaulukko

AVOHAKKU MÄNNIKÖ									
Pituuden vertailu					Runkoluvun vertailu				
Oma arvio/kopteri					Oma arvio/kopteri				
Oma arvio	Kopteri	Ero m	Ero %		Oma arvio	Kopteri	Ero kpl	Ero %	
19	20,6	1,6	8,4		490	470	20	4,1	
20	20,7	0,7	3,5		354	382	-28	-7,9	
18	19,4	1,4	7,8		511	518	-7	-1,4	
21	19,9	-1,1	-5,2		465	432	33	7,1	
19	21,1	1,1	5,8		540	520	20	3,7	
19	19,1	0,1	0,5		299	312	-13	-4,3	
21	18,2	-2,8	-13,3		465	428	37	8,0	
20	20,8	0,8	4,0		465	475	-10	-2,2	
21	21,7	0,7	3,3		448	462	-14	-3,1	
19	20,5	1,5	7,9		491	458	33	6,7	
Ka	19,7	20,2	0,4	2,0	453	446	7	1,6	

5.3 Kamerakopterin soveltuvuus tutkittavilla kohteilla

Tutkimuksessa käytetty edullinen, harrastajakäyttöön tarkoitettu kopterikalusto soveltuu tarkan valokuva-aineiston tuottamiseen metsänmittaustarkoituksiin. Laite tarvitsee kuitenkin tuekseen muuta mittauskalustoa sekä maastotyötä valokuvaamisen kohdistamisen takia. DJI Phantom 4 -nelikopterin lennätysominaisuudet riittävät hyvin tällaiseen metsänmittaukseen. Kopterilla kuvattiin yhdellä akulla noin 25-30 minuuttia. Pinta-alaa tuona aikana olisi voinut kuvata paljonkin, mutta meidän piti keskittyä tiettyihin mittauksiin ja niihin kului paljon aikaa kokemattomuuden takia.

Laitteessa on hyvät satelliittipaikanninominaisuudet. Niiden avulla voi suunnitella hyvin monenlaisia reittejä, mutta ongelmana on tietysti se, että kopteria ei saa päästää näkyvistä. Muita rajoittavia tekijöitä ovat sääolosuhteet. Ne rajaavat laitteen käyttöaikaa merkittävästi. Kopteri ei voi olla näin ollen ainoa käytettävissä

oleva mittausmenetelmä. Ympäri vuotiseen käyttöön se ei ainakaan vielä yksinään sovellu.

5.4 Muut käyttökohteet metsätaloudessa

Koptereilla voi helpottaa ja tehostaa metsäammattilaisten jokapäiväistä työtä. Erilaisia ideoita koptereiden käytöstä löytyy paljon. Yksinkertaisimmillaan tulokseksi riittäisi vain pelkkä video tai valokuva, jonka avulla voisi silmämääräisesti tarkistaa erilaisia alueita, esimerkiksi taimikonhoitotöiden jälkeä ja istutuksia. Sitten taas monimutkaisempia ideoita ovat laserkeilaus, 3D-mallinnus ja erilaiset optiikkaan perustuvat mittaukset, kuten esimerkiksi Trestima, joka on mobiililaitteelle suunniteltu metsänmittaussovellus.

Tässä työssä ei ollut tarkoituksena käyttää monimutkaisinta ja hienointa ratkaisua. Sain tutkimuksen kannalta tärkeät tunnuksat mitattua pelkän video- ja valokuvan avulla. Tarkastelin ja mittailin metsiä ja puustoa perinteiseen malliin visuaalisesti, mutta nyt vain ylhäältä päin uudesta perspektiivistä. Kopterin tuoma nopeus ja tehokkuus metsäammattilaisen apuvälineenä innosti minua kokeilemaan tätä mittausmenetelmää.

Kustannustehokas aineistonkeruu uudella teknologialla on tätä päivää. Maastossa tehtävien töiden tehostaminen kopterilla voisi säästää paljon työtunteja ja rahaa. Maastotyö on erittäin kallista verrattuna muihin mittausmenetelmiin. Lentopäiviä ei tarvitsisi vuodessa edes tulla montakaan, koska kopterista ja kuvasta saatava hyöty on maastomittauksiin verrattuna moninkertainen.

Miehittämättömillä ilma-aluksilla on paljon erilaisia käyttömahdollisuuksia. Tavallinen maisemakuvaus ja kiinteistöjen kuvaaminen voi olla se yleisin tapa hyödyntää näitä koptereita. Elokuvien teossa ja harrastekäytössä ilma-aluksia käytetään jo paljon, varsinkin koptereita. Miehitettömiä ilma-aluksia käytetään esimerkiksi luonnonvarojen mittaamiseen vaikkapa pelloilta tai metsistä. Tarvetta kopterille on myös erilaisissa tarkastuksissa ja valvontatöissä. Tarkastuksissa ilma-aluksia on käytetty, muun muassa suurten sähkölinjojen tarkistuksiin ilmasta käsin. 3D-mallinnus ja alueiden mittaaminen onnistuu myös nykypäivän tekniikalla. Vanhoihin menetelmiin verrattuna tulokset saadaan nopeasti ja helposti ja tarkasti. (Hassinen 2016, 10–14.)

Omien kokemusten ja kokeilujen perusteella kopteria voi hyödyntää metsätaloudessa varsin monipuolisesti. Se on esimerkiksi ylivoimainen apuväline, kun kartoitetaan tuulenkaatoja tai myrskytuhoja yleensäkin. Kopterilla saadaan kuvattua isoja alueita nopeasti ja tarkasti. Jotkut metsäpalveluyritykset voivat tehdä myrskytuhoarvion maanomistajalle ja kirjoittavat suoritetusta työstä suuren laskun esimerkiksi päivän töistä. Kopterilla sama työ saadaan hoidettua pienellä kuvauslennolla nopeasti ja voisin sanoa, että se on tehty jopa miestyötä tarkemminkin. Ilmakuvia voi myös liittää vakuutusyhtiölle tehtävään vahinkoilmoitukseen. Lisäksi nämä myrskytuhojen arvioinnit ovat miestyönä jopa hitaita ja mittauskohteesta riippuen myös mahdollisesti vaarallisiakin työturvallisuuden kannalta. Tuhoalueella on usein esimerkiksi jännittyneinä ja toisiaan vasten kallellaan olevia puita.

Keväällä kokeilin kopteria maastopalojen jälkivartioinnissa. Sadan metrin korkeudesta palonalun havaitsee hyvin ja alkusammutuksen saa suoritettua varhaisessa vaiheessa. Maastopalojen yhteydessä kävi ilmi myös seikka, että kopterilla voi etsiä sammutuksiin tarvittavia vesipisteitä ja suunnitella sammutuskalustolle sopivat ja parhaat mahdolliset reitit palopaikalle.

Hyviä käyttökohteita kopterille voisi olla esimerkiksi ajoreitin etsiminen jollekin kuviolle. Suunnitteluun perehtynyt metsäasiantuntija havaitsee nopeasti ilmasta käsin suorimman ja kantavimman kulkureitin kaukana tiestä sijaitsevalle hakkuukuviolle. Ojitussuunnitelmissa sitä voi varmasti hyödyntää apuna monella tavalla. Aikaisempi ojitusalue näkyy kuvasta hyvin ja liiasta vedestä kärsineet alueet havaitsee lintuperspektiivistä erinomaisesti esimerkiksi tarpeellisia uusia ojia varten. Vettä täynnä olevat ojan kohdat erottuvat selkeästi ilmakuvilta.

Muita käyttökelpoisia kohteita dronelle löytyy metsäsektorilta vielä paljonkin. Esimerkiksi metsäsuunnittelussa kopteria voi hyödyntää vaikkapa kuviointeja tehdessä, taimikon mittauksessa ja arvioinnissa tai metsätuhojen kartoittamisessa. Erityisen hyödylliseksi drone on osoittautunut uusien metsätilojen hankkimiseen liittyvissä kartoituksissa.

Esimerkiksi työnantajani oli hankkimassa uutta metsäpalstaa ja ennen ostopäätöstä hän oli kuvannut palstan kopterilla huolellisesti. Videokuvan avulla oli

helppo palata johonkin tiettyyn paikkaan metsässä kotoa käsin. Ilmakuva täydentää myös hyvin metsäsuunnitelman kuviokartan tietoja. Metsätilan myyjä voisi kuvata myös metsänsä ja esitellä tilansa parin minuutin videolla. Puunostaja voisi hyödyntää kuvaa tai videota havainnollistaessaan hakkuun tarpeellisuutta metsänomistajalle, joka voi olla hieman epäilevä hakkuun ajankohdan suhteen.

6 POHDINTA

Vaikka pienoishelikopterit vaikuttavat ehkä joidenkin mielestä lähinnä valokuvaukseen tarkoitetuille kalliille leluille, on niissä potentiaalia huomattavasti monipuolisempaan käyttöön. Opinnäytetyön edetessä ja tämänhetkisen työni ohessa olen löytänyt käyttökohteita, jotka eivät alussa tulleet edes mieleeni. Hie-
man tutustuttuani muihin käyttötarkoituksiin huomasin, että niille oli jo käytännön sovelluksia tai hyvin pitkälle vietyjä testejä.

Pienoishelikoptereista voi odottaa monipuolista työllistäjää alan yrittäjille tulevaisuudessa, kunhan pienoishelikopterin potentiaalia saadaan markkinoitua sopi-
ville asiakkaille. Kaikki yrittäjät eivät vielä välttämättä ymmärrä pienoishelikopterin tuomaa apua oman yrityksensä tarpeisiin.

Olen korjuutyönjohtajan työni puolesta tekemisissä paljon eri metsäorganisaatioiden kanssa. Selvitin opinnäytetyöni aikana heidän testejään ja tutkimuksia droneen liittyen. Sain selville, että Metsä Group testaa droneja metsäsuunnitelmien teossa kesällä 2017. Soitin tutkimuksessa oleville henkilöille ja kerroin mielenkiinnostani ja opinnäytetyöstäni tästä samasta aiheesta. He eivät kuitenkaan voineet ottaa minua mukaan projektiinsa millään tavalla ja aiheestakaan ei saanut vielä lainkaan tuloksia. Metsä Groupin projektin tarkoituksena on saada testattavilla menetelmillä metsistä tarkempaa tietoa, kuin mitä esimerkiksi Metsään.fi:ssä on.

Metsävarojen mittauksessa Metsä Group testaa kahta menetelmää. MosaicMill-yhtiön kanssa kehitetään menetelmää, jossa dronella lennetään metsätila läpi, kuvataan ja mitataan puut digitaalisen kuvatulokinnon avulla. Tulevaisuudessa mitattu data lähtisi pilvipalvelussa sijaitsevaan ohjemaan, joka tuottaisi valmiin metsäsuunnitelman. Yhdellä lennolla voidaan mitata 50-100 hehtaarin tila. Toisen yrityksen kanssa testataan samaa asiaa, mutta kiinteäsiipisellä lennokilla. Sen lentoaika on pidempi, ja kerralla voidaan mitata paljon laajempi, eli noin 500 ha tila. Tässä menetelmässä metsä mitattaisiin laserkeilaimella. Menetelmää testataan yhdessä Finsilva Oyj:n kanssa. (Metsä Forest 2017)

Pienoishelikoptereita koskevaan lakiin ja säännöksiin on tulevaisuudessa varmasti tulossa muutoksia. Tätä mainioita apuvälinettä on helppo käyttää myös

vääriin tarkoituksiin ja niillä voi halutessaan tehdä vahinkoa. Kuvaaminen ja lentäminen ei ole sallittu joka paikassa. On hyvinkin mahdollista, että kopterin lentättämiseen vaaditaan tulevaisuudessa jokin lupa tai kurssi.

Yritykset eivät välttämättä ole innokkaita ostamaan kopterilaitteistoa omaan käyttöön ajan ja osaamisen puutteen vuoksi. Pienoishelikopteritehtävät suorittaa usein ulkopuolinen yritys asiakasyrityksen toimeksiannosta. Valokuvausyritysten määrä todennäköisesti kasvaa, mutta suurin kasvupotentiaali on mittaus- ja erikoiskuvausyrityksillä.

Kokonaisuudessaan tämä projekti oli tekijälleen erittäin antoisa kokemus. Työhön lähdin ilman minkäänlaista aikaisempaa osaamista ja kokemusta tällaisista koptereista. Työ vaati paljon syventymistä sellaisiin asioihin, joita ei koulutusohjelmassa ole käsitelty ja siksi aikaa kului paljon esiselvityksiä tutkiessa. Tulokset eivät valitettavasti olleet kaikilta osin sellaisia kuin aluksi odotettiin.

Kaikkia alunperin suunniteltuja tunnuksia en myöskään saanut kopterilla mitattua. Tutkimuksen aihe oli uusi, joten tietoa oli vaikeaa löytää. Niinpä tutkimusta piti tehdä paljon yrityksen ja erehdyksen kautta. Tutkimukseen kulunut aika ei konkretisoidu täysin tekstin muodossa. Aikaa kului mielestäni paljon ennakkovalmisteluihin, joita piti tehdä ennen, kuin pääsin suorittamaan varsinaisia mittauksia. Lisäksi taustalla on tuntikausien perehtyminen projektissa käytettyihin laitteisiin, ohjelmistoihin, kuvien käsittelyyn ja erilaisiin ohjeisiin.

LÄHTEET

Apple Inc. 2017. iMovien tuki. Viitattu 5.11.2017 <https://support.apple.com/fi-fi/imovie>.

Apple Inc. 2017. MacBook Pro. Tekniset tiedot. Viitattu 5.11.2017 <https://www.apple.com/fi/macbook-pro/>.

Arvonen, S. 2014. Metsämieli. Metsäkustannus Oy.

DJI Phantom 4 -nelikopterit. Kuvauskoopterit ja paketit. 2018 Viitattu 3.1.2018 <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/61763/grthv/DJI-Phantom-4-nelikopterit>.

Hassinen, A. 2016. UAV-lennokit ja kopterit. Kokemuksia UAV-laitteista. Itä-Suomen yliopiston julkaisu.

Higgins, S. 2016. Drone LiDAR vs Photogrammetry: A Technical Guide. Viitattu 6.9.2017 <http://www.spar3d.com/news/lidar/drone-lidar-vs-photogrammetry-technical-guide>.

Ilmailulaki 7.11.2014/864.

Kallioinen, V. & Laaksonen, L. 2016. Metsän UAV-ilmakuvaukset – Toteutus ja pintamallien laatiminen. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Kangas, A., Päivinen, R., Holopainen, P. & Maltamo, M. 2011. Metsän mittaus ja kartoitus. Uudistettu painos. Itä-Suomen yliopisto.

Kopakka, V. 2015. Trestima älypuhelin kuvauksessa tunnistettujen puiden oikeellisuus. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Lukkari, A. 2016. Edullinen UA-laite tilavuusmittauksessa. Lapin Ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan opetusohjelma. Opinnäytetyö.

Metsä Forest 2017. Metsä Group testaa droneja metsäsuunnitelmien teossa. Viitattu 28.1.2018 <https://www.metsaforest.com/fi/Yritys/Tiedotteet/Pages/Tiedote.aspx?EncryptedId=53AD6995643FBFAF&Title=MetsaGrouptestaadronejametsasuunnitelmienteossa#>.

Partanen, J. 2016. Metsäinsinöörin relaskooppi vaihtui minikopteriksi. Maaseudun Tulevaisuus 30.3.2016, 7–9.

Sironen, S. 2017. Miehitettävien ilma-alusten tuotteistaminen metsätalouden käyttöön Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Metsätalouden insinöörin tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö.

Trafi 2017. Määräys OPS M1 -32. Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lentättäminen. Viitattu 15.10.2017 https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf.

LIITTEET

Liite 1. DJI Phantom 4, ilma-aluksen ominaisuudet

Liite 2. DJI Phantom 4, kameran ominaisuudet

Liite 1.

DJI Phantom 4, ilma-aluksen ominaisuudet:

Paino (mukana toimitetut akut ja potkurit)	1380 g
Diagonaalikoko (potkuri ei kuulu)	350 mm
Suurin askelnopeus	S-tila: 6 m / s
Suurin laskeutumisnopeus	S-tila: 4 m / s
Maksiminopeus	S-tila: 20 m / s
Max Kallistuskulma	S-tila: 42 ° A-tila: 35 ° P-tila: 15 °
Maksimaalinen kulmanopeus	S-tila: 200 ° / s A-tila: 150 ° / s
Max Service katto merenpinnan yläpuolella	19685 jalkaa (6000 m)
Maksimi tuulen nopeusresistanssi	10 m / s
Maksimilentoaika	N. 28 minuuttia
Käyttölämpötila	32 ° - 104 ° F (0 ° - 40 ° C)
Satelliittipaikannusjärjestelmät	GPS / GLONASS
Hover-tarkkuusalue	Pystysuora: ± 0,1 m (Vision Positioning) ± 0,5 m (GPS Positioning) Vaaka: ± 0,3 m (Vision Positioning) ± 1,5 m (GPS Positioning)

Liite 2.

DJI Phantom 4, kameran ominaisuudet:

Sensori	1 / 2,3 "CMOS Tehokas pikseli: 12,4 M
Linssi	FOV 94 ° 20 mm (35 mm: n muotoinen ekvi- valentti) f / 2.8 tarkennus ∞: ssä
ISO-alue	<ul style="list-style-type: none"> • 100-3200 (video) • 100-1600 (kuva)
Elektroninen suljinnopeus	8 - 1/8000 s
Kuvan koko	4000 x 3000
Still valokuvamoodit	Yksittäiskuvaus Burst-kuvaus: 3/5/7 kuvaa Automaattinen valotuksen haarukointi (AEB): 3/5 pystysuorat kehykset 0,7 EV Bias Timelapse HDR
Videotallennustilat	UHD: 4096 × 2160 (4K) 24 / 25p 3840 × 2160 (4K) 24/25 / 30p 2704 × 1520 (2,7 K) 24/25 / 30p FHD: 1920 × 1080 24/25/30/48/50/60 / 120p HD: 1280 × 720 24/25/30/48/50 / 60p
Max Video Bitrate	60 Mbps
Tuetut tiedostojärjestelmät	FAT32 (<32 GB); exFAT (> 32 GB)
Kuva	JPEG, DNG (RAW)
Video	MP4, MOV (MPEG-4 AVC / H.264)
Tuetut SD-kortit	Micro SD Maksimikapasiteetti: 64 Gt Tarvittava luokka 10 tai UHS-1
Käyttölämpötila	32 ° - 104 ° F (0 ° - 40 ° C)